

5. Технологический регламент АО «Уралгидромедь» от 07.04.2004
6. Разделение суспензий в химической промышленности / Малиновская Т.А. [и др.]. – М. : Химия, 1983. – 264 с.
7. Тураев Н.С. Химия и технология урана / Н.С. Тураев, И.И. Жерин. – М. : ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. – 407 с.

УДК 519.87:[669.331.14+669.431.12:669.5]

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЖИГА ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТА НА ТЕМПЕРАТУРУ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

В.М. Алкацева

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия, Alviking@mail.ru

Окислительный обжиг является головной операцией в технологической схеме переработки цинковых концентратов и проводится с целью перевода цинка из сульфида в оксид. На гидрометаллургических заводах обжиг цинковых концентратов проводят с частичной сульфатизацией (оставляют 2–4 % сульфатной серы) для компенсации потерь серной кислоты в замкнутом цикле «выщелачивание огарка – электролиз раствора».

Условия обжига должны обеспечивать: полное окисление мышьяка и сурьмы и удаление их в виде летучих соединений, как можно меньшее образование ферритов и силикатов цинка, получение концентрированных по сернистому ангидриду газов (пригодных для производства серной кислоты) [1, 2, 3]. Разрушению ферритов цинка способствует проведение обжига при максимально возможной температуре. Для уменьшения силикатообразования при обжиге шихтуют различные концентраты с целью снижения содержания кремнезёма. Обжиг проводят в окислительной среде при высокой температуре (920–980 °C).

Разработан программный продукт, реализующий математическую модель процесса обжига, включающую материальные и тепловые балансы, а также температурные зависимости изменения энтальпии и тепловых эффектов реакций обжига [4, 5, 6].

Методом планируемого имитационного эксперимента исследована зависимость температуры в кипящем слое от следующих параметров процесса: коэффициента избытка дутья ($\alpha = 1,15\text{--}1,35$, доли ед.), содержания кислорода в дутье ($O_2 = 21\text{--}23$, % об.), влажности концентрата ($W = 6\text{--}8$, %), содержания оборотной пыли в шихте ($D = 0\text{--}8$, %). Расчёт выполняли для концентрата состава, %: 50,52 Zn; 1,8 Pb; 0,5 Cd; 0,9 Cu; 7,6 Fe; 32,0 S; 2,2 SiO₂; 0,7 CaO; 0,4 MgO; 1,5 Al₂O₃; остальное – прочие.

В расчёте принято следующее [7]:

- распределение всех компонентов исходного концентрата, за исключением серы, между огарком и пылью равно 3:2, т.е. 60 % в огарок и 40 % – в пыль,
- эквивалентный диаметр огарка 0,16 мм,
- содержание в огарке серы сульфидной 0,3 %, сульфатной – 1,5 %,
- содержание в пыли серы сульфидной 0,5 % и сульфатной – 3,0 %.

Использовали трёхуровневый четырёхфакторный ортогональный план Бокса–Бенкина (таблица). Независимые переменные в кодовом масштабе связаны с переменными в натуральном масштабе выражениями:

$$X_1 = \frac{(\alpha - 1,25)}{0,10} ; \quad X_2 = \frac{(O_2 - 22)}{1} ; \quad X_3 = \frac{(W - 7)}{1} ; \quad X_4 = \frac{(D - 4)}{4} .$$

Таблица

Матрица планирования и результаты эксперимента

№ пп	Кодовый масштаб				Натуральный масштаб				Температура, °C	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	б	O ₂ , % об.	W, %	D, %	T	\hat{T}
1	-1	-1	0	0	1,15	21	7	4	973,7	973,3
2	1	-1	0	0	1,35	21	7	4	880,0	878,1
3	-1	1	0	0	1,15	23	7	4	1027,6	1025,8
4	1	1	0	0	1,35	23	7	4	931,0	930,6
5	0	0	-1	-1	1,25	22	6	0	970,6	971,5
6	0	0	-1	-1	1,25	22	8	0	944,4	945,6
7	0	0	1	1	1,25	22	6	8	957,1	958,3
8	0	0	1	1	1,25	22	8	8	931,5	932,4
9	-1	0	0	-1	1,15	22	7	0	1008,6	1006,2
10	1	0	0	-1	1,35	22	7	0	911,8	911,0
11	-1	0	0	1	1,15	22	7	8	993,8	992,9
12	1	0	0	1	1,35	22	7	8	900,0	897,7
13	0	-1	-1	0	1,25	21	6	4	936,6	938,7
14	0	1	-1	0	1,25	23	6	4	990,2	991,1
15	0	-1	1	0	1,25	21	8	4	911,9	912,8
16	0	1	1	0	1,25	23	8	4	963,2	965,2
17	-1	0	-1	0	1,15	22	6	4	1015,1	1012,5
18	1	0	-1	0	1,35	22	6	4	917,8	917,3
19	-1	0	1	0	1,15	22	8	4	987,0	986,6
20	1	0	1	0	1,35	22	8	4	893,8	891,4
21	0	-1	0	-1	1,25	21	7	0	930,6	932,4
22	0	1	0	-1	1,25	23	7	0	983,8	984,8
23	0	-1	0	1	1,25	21	7	8	918,2	919,1
24	0	1	0	1	1,25	23	7	8	969,8	971,5
25	0	0	0	0	1,25	22	7	4	950,9	951,9

Обработкой экспериментальных данных получена математическая модель зависимости температуры в кипящем слое (T , °C) от независимых переменных в безразмерном масштабе:

$$T = 951,94 - 47,604 X_1 + 26,211 X_2 - 12,964 X_3 - 6,616 X_4. \quad (1)$$

$$[(F)]^{\text{расч}} = 565,26; \quad F_{0,05;24,20} = 2,082).$$

Математическая модель в натуральном масштабе:

$$T = 1067,712 - 476,04 \alpha + 26,211 O_2 - 12,964 W - 1,654 D. \quad (2)$$

Расчётные значения температуры в кипящем слое (\hat{T}) приведены в таблице.

В соответствии с коэффициентами кодовой модели факторы ранжируются по убыванию влияния на температуру в слое следующим образом: X_1, X_2, X_3, X_4 . Из этого следует, что в исследованном диапазоне изменения факторов на температуру в кипящем слое наибольшее влияние оказывают содержание кислорода в дутье и коэффициент избытка дутья.

Для изучения влияния расхода концентрата на температуру в кипящем слое в программу расчёта был введён коэффициент расхода концентрата при постоянном расходе дутья (K), значения которого изменяли в интервале от 0,25 до 5. Тем самым прогнозировали температуру в кипящем слое при изменении дозирования концентрата с сохранением прежних настроек по остальным параметрам процесса.

Поскольку температура воспламенения основного компонента цинкового концентрата – сфалерита (ZnS) – флотационной крупности равна 615 °С, то в случае, если установившаяся температура обжига (т.е. температура, при которой суммарный приход и суммарный расход тепла уравниваются) ниже 615 °С, из статей теплового баланса исключается тепло

химических реакций.

Расчёты проводили для 3-х значений коэффициента избытка дутья (1,15; 1,25 и 1,35) при следующих значениях других независимых переменных: содержании кислорода в дутье 21 % об., влажности концентрата 7 %, дозировке обратной пыли от массы сухого концентрата 0 %. Графики зависимости установившейся температуры в кипящем слое от коэффициента расхода концентрата при постоянном расходе дутья приводятся соответственно на рис. 1, а (для $\alpha = 1,15$), рис.1, б (для $\alpha = 1,25$) и рис.1, в (для $\alpha = 1,35$).

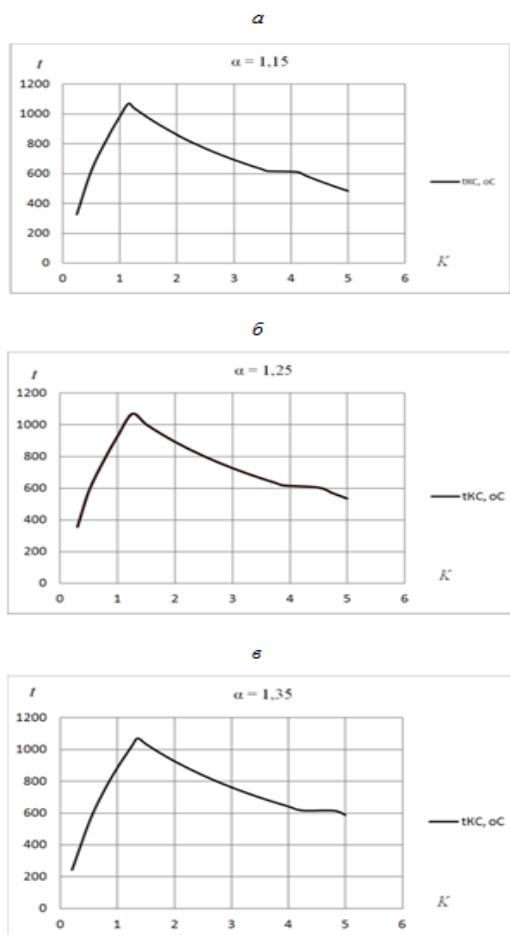


Рис.1. Зависимость температуры кипящего слоя от коэффициента расхода концентрата (K):
а – $\alpha = 1,15$; б – $\alpha = 1,25$; в – $\alpha = 1,35$

Зависимость температуры в кипящем слое от расхода концентрата проходит через максимум, имеющий место при равенстве коэффициента расхода концентрата (K) и коэффициента избытка дутья (α). Величина максимума температуры определяется составом концентрата (его теплотворной способностью). Спад температуры в кипящем слое при значениях $K < \alpha$ объясняется недостаточностью теплотворной способности концентрата для поддержания горения в условиях значительного избытка дутья. При $K > \alpha$ температура в кипящем слое также падает, что связано с недостатком дутья для обеспечения горения избыточного количества концентрата. Это лишь подтверждает необходимость поддержания расхода концентрата на заданном уровне, соответствующем дутьевому режиму обжига. Имеющиеся как на восходящей, так и на нисходящей ветви кривой изломы при температуре 615 °С связаны со значительным сокращением прихода тепла (при движении сверху) вследствие исключения тепла химических реакций из статей теплового баланса.

Зависимость температуры кипящего слоя от расхода цинкового концентрата ранее была исследована в работе [8] при ряде допущений, принципиально не изменяющих вид кривой. Однако, как следует из приведённой в работе [8] графической зависимости, при падении температуры в слое ниже температуры воспламенения сфалерита (основной составляющей концентрата) тепло химических реакций не было исключено из статей теплового баланса.

Литературы

1. Зайцев В.Я., Маргулис Е.В. Металлургия свинца и цинка. М.: Металлургия, 1985. 263 с.
2. Шиврин Г.Н. Металлургия свинца и цинка. М.: Металлургия, 1982. 352 с.
3. Романтеев Ю.П., Быстров В.П. Металлургия тяжёлых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий. М.: Издательский Дом МИСиС, 2010. 575 с.
4. Краткий справочник физико-химических величин /Под ред. А.А.Равделя и А.М.Пономарёвой. СПб: Издательство «Иван Фёдоров», 2003. 240 с.
5. Рузинов Л.П., Гуляницкий Б.С. Равновесные превращения металлургических реакций. М.: Металлургия, 1975. 416 с.
6. Кубашевский О., Олкокк С.Б. Металлургическая термохимия / Пер. с англ. М.: Металлургия, 1982. 392 с.
7. Гальнбек А.А., Шалыгин Л.М., Шмонин Ю.Б. Расчёты пирометаллургических процессов и аппаратуры цветной металлургии: Учеб. Пособие для вузов. Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, 1990. 448 с.
8. Исследование процесса обжига цинковых концентратов в кипящем слое методом математического моделирования / А.Л.Рутковский, Д.Н.Дюнова, А.В.Бигулов, И.С.Яковенко,

УДК661.85:669.053:66.048.1–982

РАЗДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ Pb–Ag ПРИ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ВОЗГОНКЕ

А.А. Королев, Г.И. Мальцев, К.Л. Тимофеев

Акционерное общество «Уралэлектромедь», Верхняя Пышма, Россия,

e-mail:mgj@elem.ru

Вакуумная перегонка считается одним из самых эффективных и экологически чистых методов для разделения и очистки, переработки и рафинирования различных металлов. Она имеет ряд преимуществ, таких как относительно низкое потребление энергии, короткий производственный цикл, высокую рентабельность, отсутствие подлежащих утилизации отходов, по сравнению с традиционными методами, например, пирометаллургической переработкой и электролизом. Равновесные фазовые диаграммы «жидкость–газ» (*vaporliquidequilibrium – VLE*), включая зависимости состава от температуры ($T-x$) и давления ($p-x$) рассчитаны для Pb–Ag сплава при вакуумной перегонке на основе модели *VLE* и молекулярной модели объемного взаимодействия (*molecularinteractionvolumemodel – MIVM*). Объективные *VLE* зависимости важны для выбора температуры и давления системы, оценки эффективности разделения в вакуумной перегонке. Определение термодинамических характеристик из экспериментальных данных занимает много времени и требует значительных финансовых затрат. Следовательно, теоретический расчет является альтернативным и эффективным способом получения информации о термодинамических свойствах сплавов, особенно для многокомпонентных систем.

Необходимые для расчета параметры Pb–Ag сплава даны в табл. 1, где γ_i^∞ и γ_j^∞ – коэффициенты активности компонентов i и j в бесконечно разбавленных растворах; B_{ij} и B_{ji} – показатели, учитывающие потенциальные энергии парного взаимодействия $i-j, j-i, i-i, j-j$ систем; Z_i и Z_j – координационные числа; p_i^* и p_j^* – давление насыщенных паров чистых компонентов ($\lg p^* = AT^{-1} + B \lg T + CT + D$); $V_{m(i,j)}$ – молекулярный объем компонентов; T – температура